



Получена: 20.12.2019 г.

Приета: 22.01.2020 г.

## ИЗПОЛЗВАНЕ НА ДЪЖДОВНИ ВОДИ ЗА НАПОЯВАНЕ НА ДВОРНИ МЕСТА НА ТЕРИТОРИЯТА НА ГРАД СОФИЯ

Е. Цанов<sup>1</sup>, М. Иванова<sup>2</sup>, П. Филков<sup>3</sup>

*Ключови думи:* събиране и използване на дъждовни води, напояване, плътност на застрояване, водоснабдяване

### РЕЗЮМЕ

Улавянето и акумулирането на дъждовни води за напояване на зелени площи в частни имоти е алтернатива на използването на питейни води от селищната водопроводна система. За района на гр. София е извършен баланс на необходимите и налични водни обеми в рамките на поливния сезон (април-септември) при различна плътност на застрояване на имота. Въз основа на получените използваеми обеми дъждовни води са определени спестените разходи за напояване за една година при различна цена на водата и площ на имотите.

### 1. Въведение

Събирането и използването на дъждовни води е познато още от древността и е широко използвано до днес. През 2012 г. Европейската комисия публикува няколко доклада, съдържащи информация относно системите за събиране и използване на дъждовни води (ССИДВ). В доклад с най-добрите практики в строителството и сградите по отношение на въздействието върху околната средата [1] като една от тези мерки са посочени системите за повторно използване на водите, които включват и ССИДВ. Оценено е, че събирането и използването на дъждовни води може да намали използването на питейна

<sup>1</sup> Емил Цанов, гл. ас. д-р, кат. „Водоснабдяване, канализация и пречистване на води“, УАСГ, 1046 София, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, e-mail: e.tsanov@nemoconsult.net

<sup>2</sup> Мария Иванова, гл. ас. д-р, Секция „Физика, ерозия, почвена биота“, Институт по почвознание агротехнологии и защита на растенията „Н. Пушкиров“, 1331 София, ул. „Шосе Банкя“ № 7, e-mail: mulykostova@abv.bg

<sup>3</sup> Петър Филков, доц., кат. „Хидротехника и хидромелиорации“, УАСГ, 1046 София, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, e-mail: pifilkov@yahoo.com

вода с 20 – 50% [2], а прилагането на тези системи е посочено като изключително важно за зони с развит туризъм, тъй като в тях водните ресурси са подложени на натиск [3].

Използването на дъждовни води може да бъде за питейни и непитейни нужди. Употребата за питейни нужди изисква да се познава съставът на събраната вода и да се предвиди необходимото пречистване. Използването им за непитейни нужди, от друга страна, не изисква пречистване, а само филтриране, като събраната вода може да се използва за напояване, промиване на тоалетни чинии, пране и миене на подове.

По данни от Европейската асоциация за системи за събиране на дъждовни води в Европа [4] едни от страните с най-богат опит и най-много инсталирани системи са Германия, Дания, Австрия, Великобритания и Франция, а в световен аспект към тях може да се добави и Австралия, където 50% от домакинствата използват ССИДВ. Като основен фактор за използването на тези системи в Европа е посочена цената на водата. Колкото по-висока е тя, толкова по прилагани са ССИДВ. Цената на водата е както следва: Германия (над 4 евро/м<sup>3</sup> [5]), Дания (над 8 евро/м<sup>3</sup> [6]), Австрия (почти 4 евро/м<sup>3</sup> [6], над 4 евро/м<sup>3</sup> [5]), Великобритания (около 3,5 евро/м<sup>3</sup>[6]) и Франция (почти 4 евро/м<sup>3</sup> [6], над 4 евро/м<sup>3</sup> [5]). Трябва да се има предвид, че цените на водата в двата документа са за различни периоди и са получени по различни методологии и не би следвало да се сравняват, а тук са представени единствено с ориентирировъчна цел.

В табл. 1 са представени средните годишни валежи за периода 1901 – 2016.

**Таблица 1. Средногодишни валежи за периода 1901 – 2016 г. [7]**

Държава	Годишни валежи, mm
Австралия	460,7
България	614,4
Германия	707,2
Дания	713,5
Франция	831,6
Великобритания	1186,2
Австрия	1172,3

От табл. 1 е видно, че средните годишни валежи в България са 614,4 mm и са напълно достатъчни за успешното прилагане на ССИДВ. По този показател страната ни се намира между Австралия и Германия, които са сред страните с най-много инсталирани системи. Но по отношение на тяхното прилагане в България това е по-скоро изключение отколкото позната практика.

Изплащането на такава система е друг фактор, който влияе на популярността и зависи основно от началните капиталовложения и цената на питейната вода. Колкото по-висока е цената на водата и по-ниски са началните капиталовложения, толкова по-кратък е периодът за откупуване на системата. Началната инвестиция в ССИДВ може да се оцени точно единствено при наличието на проект, но има и някои общи зависимости, влияещи на този фактор. Така например реновирането на съществуващи ВиК инсталации с цел добавяне на ССИДВ обикновено излиза скъпо и непрактично, сравнено с изграждането им заедно със сградата или при извършване на цялостна реконструкция [3]. При цялостна реконструкция добавянето на такава система увеличава бюджета за ВиК с около 15% [8], което не е съществено на фона на общата стойност на инвестицията. Това показва, че е важно в най-ранна фаза на инвестиционното намерение да се оцени ползата от ССИДВ и нейното проектиране и изграждане да бъде част от основния проект.

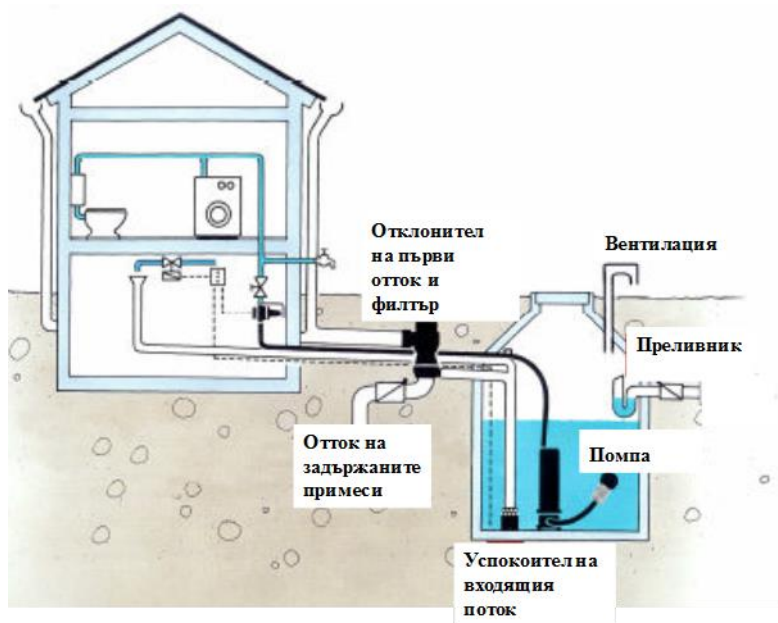
Целта на настоящото проучване е да се определи какви биха били финансовите ползи (намаляване на разходите за питейна вода) при изграждането на система за събиране на дъждовни води и използването им за напояване на дворните места в град София. Оценката обхваща различни големина на имотите, плътност на застрояване и цена на водата (фиг. 1).



Фиг. 1. Връзка между изходни данни и търсена информация

## 2. Методология

### 2.1. Система за събиране и използване на дъждовни води



Фиг. 2. Примерна схема на ССИДВ за непитейни нужди [9]

Системите за събиране и използване на дъждовни води и техните елементи се проектират в зависимост от използването на водата. Когато водата не се използва за питейни нужди е необходимо да се предвиди филтриране на уловената вода преди постъпването ѝ в резервоара за съхранение.

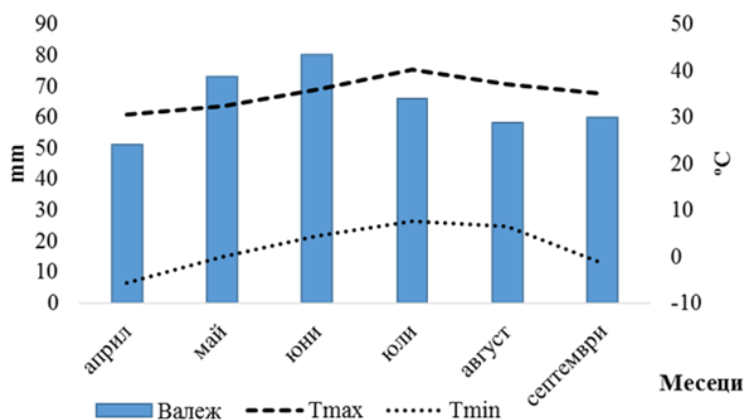
Примерна схема е представена на фиг. 2.

Схемата съдържа фабрично произведени елементи, които осигуряват подходящи качества на водата за използване за промиване на тоалетни чинии, пране, миене на подове и напояване.

## 2.2. Изследван район

Изследван е районът на град София, при който цената на водата за битови потребители е 2,582 лв/м<sup>3</sup> [10], а поносимата цена на водата е 7,083 лв/м<sup>3</sup> [10]. Интензивното строителство на нови сгради прави столицата потенциално подходяща за прилагане на ССИДВ.

Данните за средномесечни валежи, абсолютна максимална и абсолютна минимална температура за поливния сезон (април-септември) за периода 2000 – 2018 г. са предоставени от Националния институт по метеорология и хидрология (НИМХ) и са представени на фиг. 3.



Фиг. 3. Средномесечни стойности на валежи и температури за периода 2000 – 2018 г.

## 2.3. Определяне на евапотранспирацията и необходимостта от напояване

За установяване на еталонната евапотранспирация  $ET_0$  е приложено уравнението на FAO – Penman-Monteith (ур. 1), като са използвани максималната и минималната температура и процедурите на FAO при ограничени данни за метеорологичните елементи (ур. 2 и 3).

$$ET_0 = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34u_2)}, \quad (1)$$

където  $ET_0$  е еталонната евапотранспирация ( $\text{mm day}^{-1}$ ),  $R_n$  е радиационният баланс ( $\text{MJ m}^{-2} \text{day}^{-1}$ ),  $G$  е топлинният поток на почвата ( $\text{MJ m}^{-2} \text{day}^{-1}$ ),  $T$  е среднодневната тем-

пература на 2 m височина ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $u_2$  – скоростта на вятъра на 2 m височина ( $\text{m s}^{-1}$ ),  $e_s$  – налягането на наситените водни пари (kPa),  $e_a$  – парциалното налягане на водните пари (kPa),  $(e_s - e_a)$  е дефицитът на влажността на въздуха (kPa),  $\Delta$  – наклонът на зависимостта между налягането на наситените пари и температурата ( $\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$ ),  $\gamma$  е психрометричната константа ( $\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$ ).

Сумарната слънчева радиация  $R_s$  е изчислена по метода на температурните разлики, който се основава на факта, че разликата между максималната и минималната температура дава най-близка оценка за действителната слънчева радиация на района [11] (ур. 2).

$$R_s = k_{RS} \sqrt{(T_{\max} - T_{\min})} R_a, \text{ MJ.m-2.d-1}, \quad (2)$$

където  $k_{RS}$  е коефициентът на пропорционалност,  $T_{\max}$  и  $T_{\min}$  са максималната и минимална температура,  $^{\circ}\text{C}$ , а  $R_a$  е действителната слънчева радиация на дадено място,  $\text{MJ.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$ .

Използван е установеният, като най-подходящ за Софийското поле [12], коефициент на пропорционалност  $k_{RS} = 0,16$ .

При липса на данни за относителната влажност на въздуха парциалното налягане на водните пари  $e_a$ , участващо в определянето на  $ET_0$ , се изчислява чрез минималната температура  $T_{\min}$  (ур. 3).

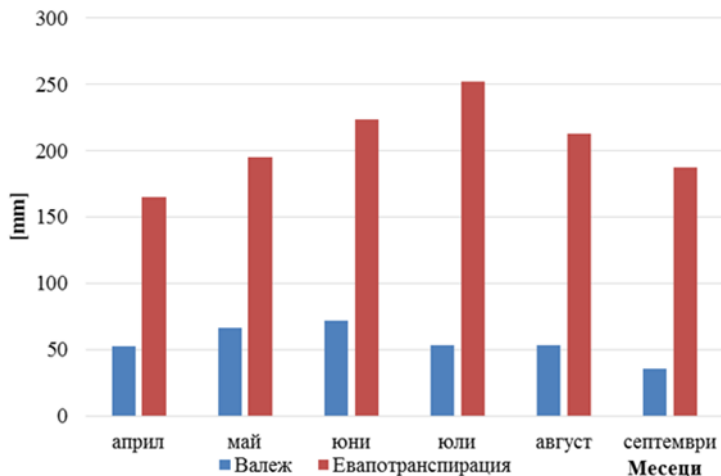
$$e_a = e^{\circ}(T_{\min}) = 0,611 \exp \left[ \frac{17,27T_{\min}}{T_{\min} + 237,3} \right], \text{ kPa}. \quad (3)$$

За скорост на вятъра е приета базовата в света средна стойност  $u_2 = 2 \text{ m.s}^{-1}$ . Евапотранспирацията на културата  $ET_{crop}$  е определена на основата на  $ET_0$  и на калибрираните стойности на коефициента на културата  $K_C$ , препоръчани от FAO ( $ET_{crop} = K_C \cdot ET_0$ ).

**Таблица 2. Коефициенти на културата “Turf grass” по фази на развитие**

Фаза на развитие	Начално развитие	Ускорено развитие	Пълна зрелост
$K_C$	0,80	0,85	0,85

Получените резултати за евапотранспирацията и валежите са представени на фиг. 4.



**Фиг. 4. Месечни стойности на валежите и евапотранспирацията**

Видно е от фиг. 4, че валежите не са достатъчни, за да осигурят необходимите количества вода на растенията, което води до необходимостта от напояване.

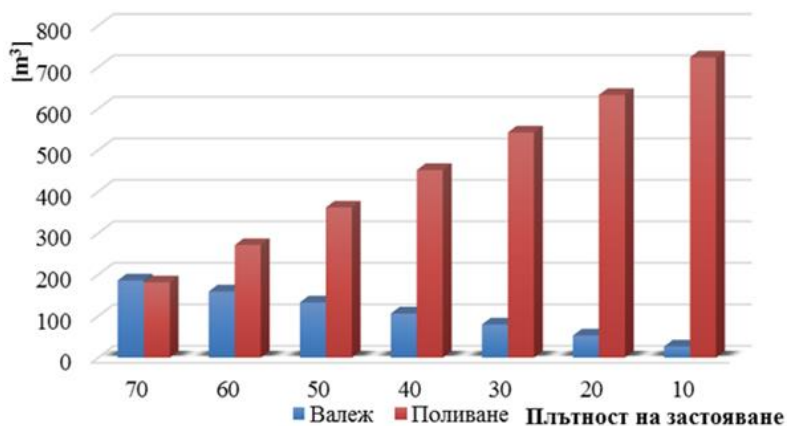
## 2.4. Анализирани на моделен имот

Анализиран е моделен имот с площ  $1000 \text{ m}^2$ , за който са разгледани различни стойности на плътността на застрояване и озеленяване.

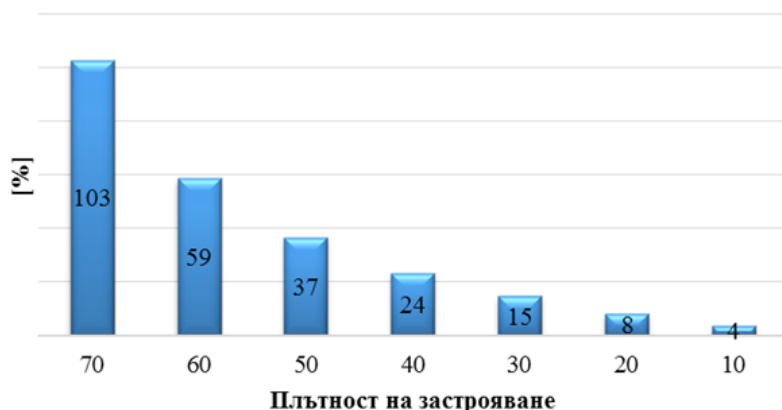
Дъждовните води, събрани от покрива на сградата, са с по-добри качества, според [4], поради което е прието, че само те ще постъпват в ССИДВ, докато водите от плочници и алеи няма да се оползотворяват. На последните са отредени 10% от общата площ на имота, което води до 90% ефективна площ, която да бъде анализирана от гледна точка на потенциала за събиране на дъждовна вода и за напояване.

Стойностите на плътността на застрояване са приети в границите 10 – 70% при стъпка на изчисление 10%. Размерът на зелените площи за напояване е разликата между ефективната площ и плътността на застрояване. Процентът на улавяне на дъждовните води е приет 80%, което съответства на отточен коефициент 0,9 и КПД на системата за събиране на дъждовни води 90%, тъй като това е една от най-честите стойности, давани от производителите на такива системи [4].

Резултатите от изчисленията са представени на фиг. 5 и фиг. 6.



Фиг. 5. Необходима вода за напояване и потенциално събраната дъждовна вода за поливен сезон при различна плътност на застрояване

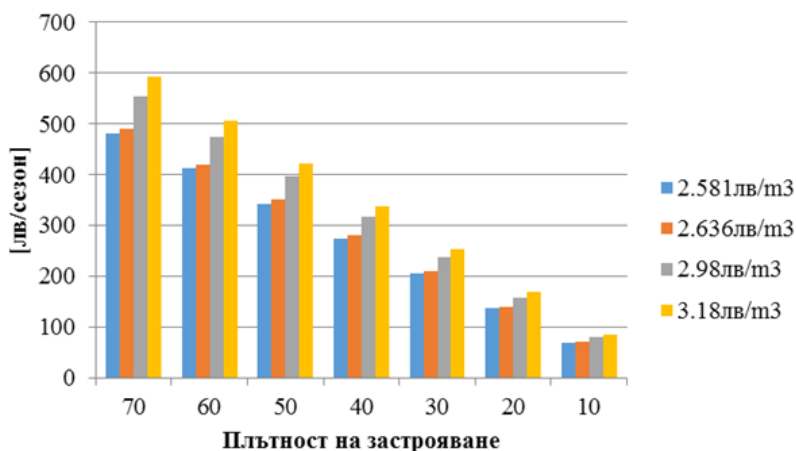


Фиг. 6. Процент на водата, необходима за напояване, която може да се осигури от дъждовна вода за поливен сезон при различна плътност на застрояване

От фиг. 5 и фиг. 6 е видно, че при плътност на застрояване 70% от дъждовната вода е достатъчна, за да осигури изцяло необходимите количества вода за напояване. При по-ниска плътност на застрояване е необходимо да се предвидят допълнителни обеми от селищната водоснабдителна система. В тези случаи при събирането на дъждовна вода няма излишък и целият събран обем може да се използва за напояване. Това позволява анализа за определяне на периода на възвръщаемост на инвестицията да се фокусира върху разходите за изграждане и експлоатация на системата от една страна и „приходите“ (намалените разходи) от дъждовна вода като алтернатива на питейната.

## 2.5. Намаляване на разходите за вода

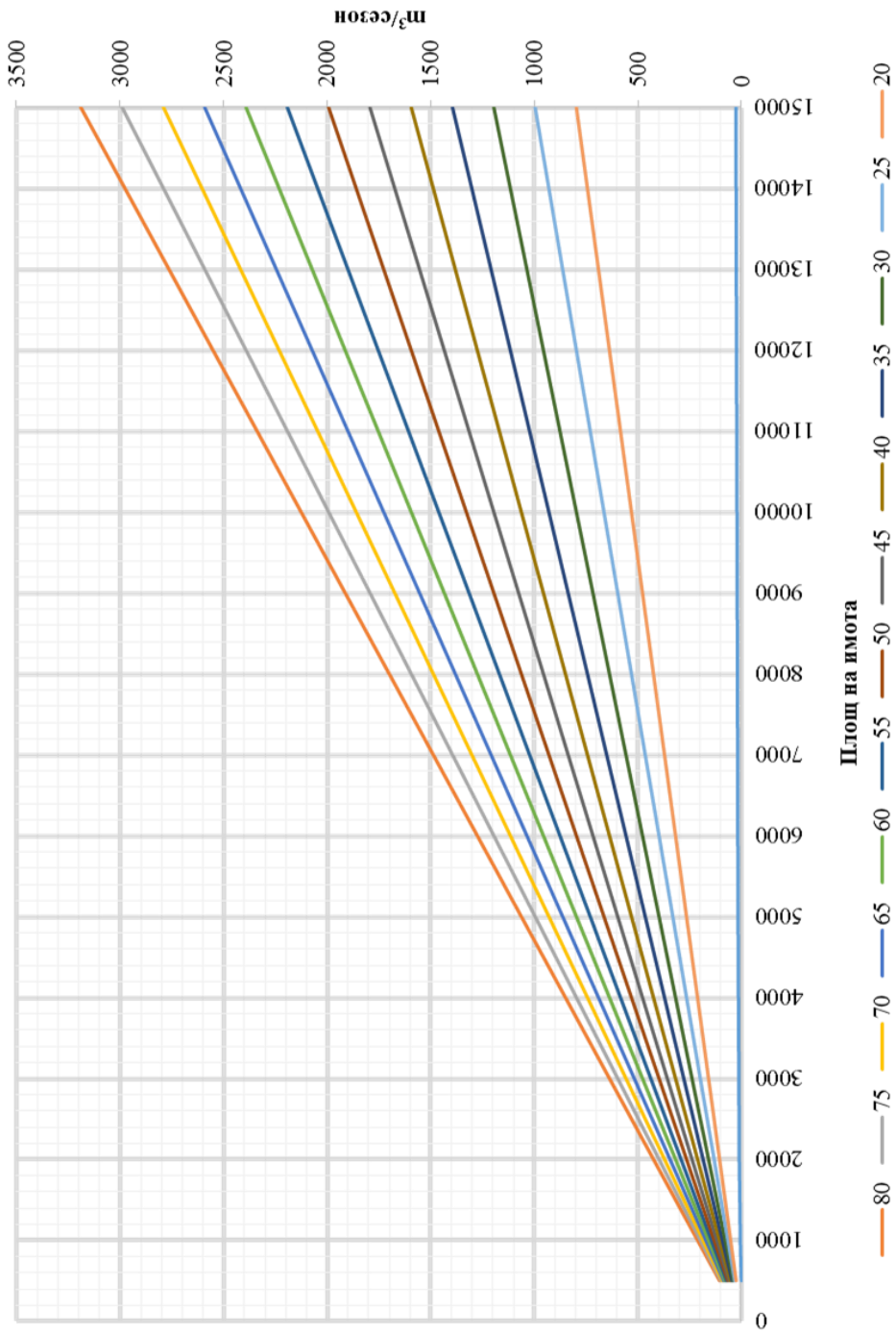
Формирането на цената на водата е сбор от три компонента – доставяне на питейна вода, отвеждане и пречистване. Последният компонент има различна стойност за промишлени и други стопански потребители, в зависимост от степента на замърсяване спрямо битовите потребители. Това формира общо 4 цени на водата – една базова, за битови потребители и 3 за промишлени и други стопански потребители. За гр. София тези цени са съответно 2,581 лв/м<sup>3</sup>, 2,636 лв/м<sup>3</sup>, 2,98 лв/м<sup>3</sup> и 3,18 лв/м<sup>3</sup>. Тъй като заплащането се извършва въз основа на показанията на водомерите, то компонентите за отвеждане и пречистване се заплащат дори и при използване на водата за напояване. Резултатите от изчисленията за намаляване на разходите за ВиК услуги са представени на фиг. 7.



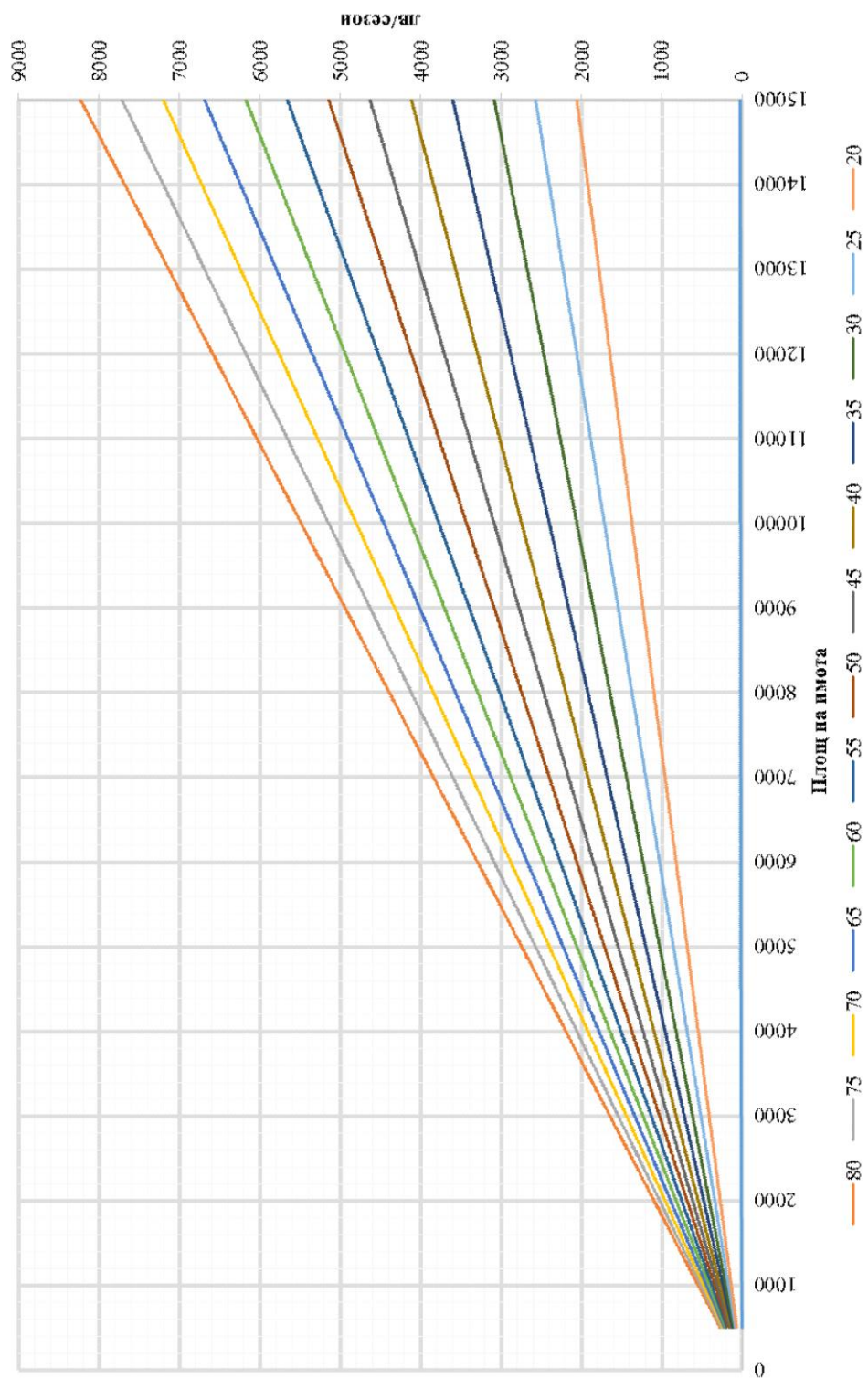
Фиг. 7. Намаляване на разходите за вода чрез използването на дъждовна вода, за един сезон и при различни цени на водата и плътност на застрояване

Видно е от фиг.7, че намалените разходи могат да варират в границите от 69 лв/сезон, при битови потребители, до 592 лв/сезон при промишлени и други стопански потребители с III степен на замърсяване на отпадъчните води.

Чрез следване на горната методология и обвързване на основните елементи, съгласно фиг. 1, са разработени две номограми за големина на имотите от 500 м<sup>2</sup> до 15 000 м<sup>2</sup> и плътност на застрояване от 20 до 80%, които са представени на фиг. 8 и 9.



Фиг. 8. Потенциално събрана дъждовна вода за сезон при различна плътност на застрояване



Фиг. 9. Потенциално намалени разходи за питейна вода за сезон при различна плътност на застрояване и цена на питейна вода 2,581 лв./m<sup>3</sup>

### 3. Резултати и дискусия

Проведеното изследване разглежда потенциала за събиране и използване на дъждовна вода на територията на гр. София, въз основа на ограничена метеорологична информация за периода 2000 – 2018 г. Трябва да се има предвид, че данните за евапотранспирацията са получени въз основа на методи, приложими за големи селскостопански площи, огрявани през целия ден. В населените места, обаче, в различни периоди на деня се засенчват различни зони от зелените площи, което неминуемо води до снижение на евапотранспирацията. Като следствие необходимите обеми вода за напояване намаляват, което прави възможно цялостното осигуряване на напояването от дъждовни води дори при имоти с по-ниска плътност на застрояване от 70%. Друг фактор, действащ в същата посока, е използването на висока дървесна растителност за покриване на минималния процент на озеленяване на имотите, което също води до намаляване на евапотранспирацията. Допълнителни обеми дъждовна вода за напояване, макар и малки, могат да се осигурят чрез запълване на резервоара преди поливния сезон. Тези фактори не са отчетени в настоящото изследване.

От представените резултати е видно, че при имотите с висока плътност на застрояване дъждовната вода би била достатъчна за осигуряване на необходимите обеми вода за напояване. При имотите с ниска плътност на застрояване събраните обеми не са достатъчни, което води до необходимостта от втори водоизточник за осигуряване на напояването. Това в някои случаи може да направи ССИДВ нецелесъобразни, особено при резервиране от подземни води. Важно е да се отбележи, че резервиране на сохранването с вода е препоръчително във всички случаи, тъй като може да има дълги периоди без валежи. Освен това, в настоящото изследване не е разгледан подробен баланс на приходите и разходите на вода в резервоара, в резултат от което размерът на уловените обеми дъждовна вода е максималният възможен. В реални условия, при интензивни и/или дълготрайни валежи, част от дъждовната вода би могла да прелее, поради ограничения обем на резервоара, което ще намали разполагаемите обеми за напояване в рамките на сезона.

Събраните обеми дъждовна вода и финансовите ползи са разгледани само в рамките на поливен сезон и използване на водата за напояване. Те биха се увеличили, ако събраната вода се използва и за промиване на тоалетни чинии, пране и миене на подове, тъй като това ще позволи резервоарът да се използва целогодишно, а той е най-скъпият компонент на системата. Подходящи сгради в този случай биха били жилищни комплекси и хотели, при които броят на тоалетните казанчета е голям. Но за точно определяне на ползите е необходимо допълнително, по-обширно, изследване.

В настоящата разработка не са отчитани разходите за изграждане и поддържане на ССИДВ, тъй като има прекалено много специфики, които могат да се изяснят само при изготвянето на проект. Обемът на резервоара трябва да е подходящо определен, за да не се получава често преливане и в резултат от това загуби на вода, както и да не е необосновано голям, което да повиши началните капиталовложения, без да води до съществено увеличаване на обема уловени дъждовни води.

### Заклучение

Изследването разглежда ползите на собствениците на сгради при събирането и използването на дъждовни води за поливане на територията на град София. Резултатите показват, че имотите с по-висока плътност на застрояване биха имали повече ползи, като при определени условия питейната вода за напояване може изцяло да се замени с дъж-

довна. Във всички разглеждани случаи не се получава излишък на дъждовна вода и целият уловен обем може да се използва.

Валежите на територията на град София са с обем, който позволява използването на ССИДВ. С увеличаване на цената на питейната вода, чийто потенциал е около 3 пъти, намаляването на разходите за напояване ще бъдат все по-значителни.

Разработените номограми позволяват при наличие на виза за проектиране да се направи бърза оценка на потенциалните ползи като обем събрана вода и намалени разходи за питейна вода при действащата към момента цена за битови потребители.

## Благодарности

Проект BG05M2OP001-1.002-0019: „Чисти технологии за устойчива околна среда – води, отпадъци, енергия за кръгова икономика“ (Clean&Circle) за изграждане и развитие на Център за компетентност, е финансиран по Оперативна програма „Наука и образование за интелигентен растеж“, съфинансирана от Европейския съюз чрез Европейските структурни и инвестиционни фондове.

Общата стойност на проекта е 23 667 925,86 лева, от които 20 117 736,97 лева европейско и 3 550 188,89 лева национално съфинансиране. Сроктът за изпълнение на проекта е от 30 март 2018 г. до 30 ноември 2023 г.

## ЛИТЕРАТУРА

1. European Commission. Best environmental management practice for the building and construction sector. European Commission 2012.
2. European Commission. Water performance in buildings. DG Enviornment, 2012.
3. European Commission. Best Environmental Management Practice in the Tourism Sector. 2013 EC IPTS.
4. <http://www.ercsa.eu/factsheets.html>, посетен на 20.10.2019.
5. VEWA. Comparison of European Water and Wastewater Prices, German Association of Energy and Water Industries, 2015.
6. The European Federation of National Associations of Water Services, Europe's water in figures, 2017.
7. <https://climateknowledgeportal.worldbank.org>, посетен на 20.10.2019.
8. *Smith, M. et al.* Water transformed – Australia: s.l. : Australia: The Natural Edge Project, 2009.
9. <https://wisy.de/en>, посетен на 01.06.2018.
10. Комисия за енергийно и водно регулиране. Решение № Ц-20 от 28.12.2018.
11. *Allen et al.* Crop evapotranspiration – guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and drainage paper 56. Food and Agriculture Organization, Rome, 1998.
12. *Иванова, М., Попова, З.* Валидация на методологията на ФАО56 за изчисляване на еталонната евапотранспирация  $ET_0 - PM$  при ограничени метеорологични данни в Софийско поле. 2012.

# USE OF RAINWATER FOR LANDSCAPE IRRIGATION IN SOFIA CITY

E. Tsanov<sup>1</sup>, M. Ivanova<sup>2</sup>, P. Filkov<sup>3</sup>

*Keywords: rainwater harvesting, landscape irrigation, density of construction, water supply*

## ABSTRACT

The collection and accumulation of rainwater for landscape irrigation of courtyards is feasible alternative to drinking water use from urban distribution network. A balance of necessary and available water during the irrigation season (April – September) is done for the region of Sofia City at various shares of the density of construction. The saved annual expenses for landscape irrigation are estimated on the basis of the usable rainwater amounts at different water price rates and area of the property.

---

<sup>1</sup> Emil Tsanov, Assist. Prof. Dr., Dept. “Water Supply, Sewerage, Water and Wastewater Treatment”, UACEG, 1 H. Smirnenki Blvd., Sofia 1046, e-mail: tsanov.e@gmail.com

<sup>2</sup> Maria Ivanova, Assist. Prof. Dr., Dept. “Physics, Erosion, Soil Biota”, Institute of Soil Science, Agrotechnologies and Plant Protection “Nikola Poushkarov”, 7 Shosse Bankya St., Sofia 1331, e-mail: mulykostova@abv.bg.

<sup>3</sup> Petar Filkov, Assoc. Prof., Dept. “Hydraulic, Irrigation and Drainage Engineering”, UACEG, 1 H. Smirnenki Blvd., Sofia 1046, e-mail: pifilkov@yahoo.com